System Engineering and Productivity/ 2025/ Vol.4/ No.4/ 31-44

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/msb.2024.2031849.1214

Performance Evaluation of Organizational Innovation Creation System by Network Data Envelopment Analysis with Random Input and Output

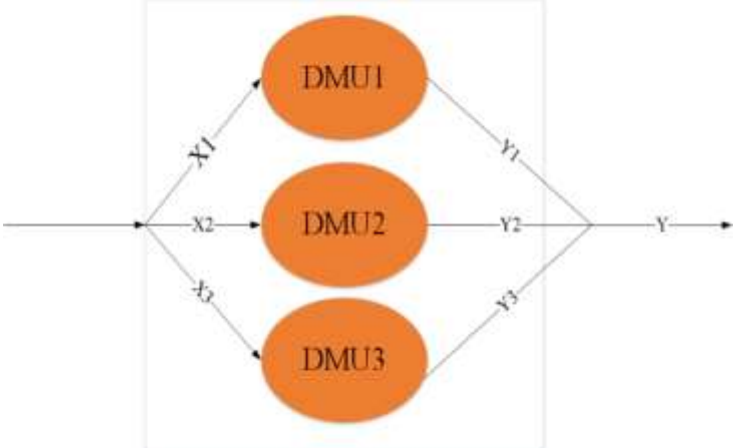
Saeid Yeganeh

Ph.D. Student, Department of Industrial Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- In this research, due to the presence of random input and output, the accuracy and validity of the evaluation results are increased.
- To examine the efficiency, the data envelopment analysis technique of mixed network with random input and output has been used.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 11 September 2024
Received in revised form: 2 November 2024
Accepted: 13 November 2024
Available online: 13 November 2024
Correspondence:
yegane.saeid@gmail.com
How to cite this article:
Yeganeh, S. Performance evaluation of organizational innovation creation system by network data envelopment analysis with random input and output. *System Engineering and Productivity*. 2025; 4(4):31-44.

Keywords:
Performance evaluation
Efficiency
Data Envelopment Analysis
Creating innovation

ABSTRACT

In the field of improving organizational performance, innovation creation systems are of great importance, and evaluating the performance of these systems is also very important. Using data envelopment analysis as a quantitative method for performance evaluation allows organizations to examine the performance of different units according to their inputs and outputs. In this study, due to the presence of random inputs and outputs, the accuracy and validity of the evaluation results increase, and a better analysis of the performance of innovation systems can be achieved. In the present study, the performance of the organizational innovation creation system is evaluated using network data envelopment analysis with random inputs and outputs. This study was conducted with the approach of examining and comparing the efficiency of knowledge-based companies in terms of establishing an innovation creation system, and the mixed network data envelopment analysis technique with random inputs and outputs was used to examine the efficiency. In addition, the companies were prioritized using the Anderson-Patterson method.

Publisher: University of Eyvanekey

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۳/ دوره ۴/ شماره ۴/ صفحه ۳۱-۴۴

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

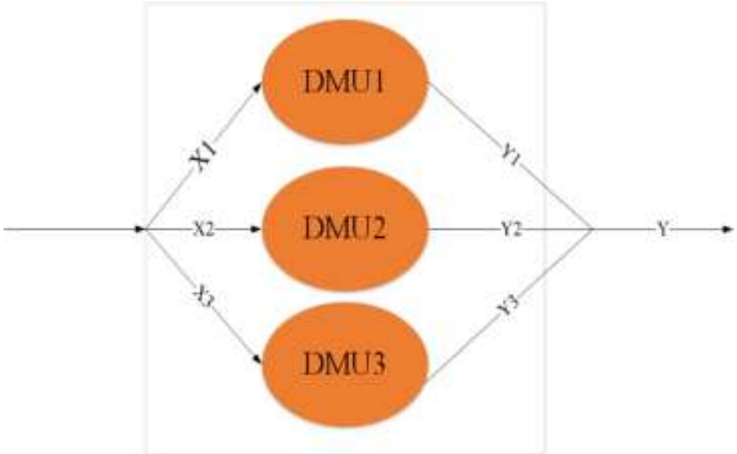
DOI: 10.22034/msb.2024.2031849.1214

ارزیابی عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی با تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ورودی و خروجی تصادفی

سعید یگانه

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- در این تحقیق، با توجه به وجود ورودی و خروجی تصادفی، دقت و اعتبار نتایج ارزیابی افزایش می‌یابد.
- برای بررسی کارایی از تکنیک تحلیل پوششی داده‌های شبکه مختلط با ورودی و خروجی تصادفی استفاده‌شده است.

چکیده

در حوزه بهبود عملکرد سازمان‌ها، سیستم‌های خلق نوآوری از اهمیت بسزایی برخوردارند و ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها نیز بسیار مهم است. استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش کمی برای ارزیابی عملکرد، به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که عملکرد واحدهای مختلف را با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌های آن‌ها موردبررسی قرار دهند. در این تحقیق، با توجه به وجود ورودی و خروجی تصادفی، دقت و اعتبار نتایج ارزیابی افزایش می‌یابد و می‌توان به تحلیل بهتری از عملکرد سیستم‌های نوآوری دست‌یافت. در مطالعه حاضر به ارزیابی عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ورودی و خروجی تصادفی پرداخته‌شده است. این تحقیق، با رویکرد بررسی و مقایسه کارایی شرکت‌های دانش‌بنیان از حیث استقرار سیستم خلق نوآوری صورت گرفته و برای بررسی کارایی از تکنیک تحلیل پوششی داده‌های شبکه مختلط با ورودی و خروجی تصادفی استفاده‌شده است. علاوه بر این، با استفاده از روش اندرسون پترسون شرکت‌ها اولویت‌بندی شده‌اند.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳

نویسنده مسئول:

yegane.saeid@gmail.com

کلیدواژه‌ها:

ارزیابی عملکرد

کارایی

تحلیل پوششی داده‌ها

خلق نوآوری

۱- مقدمه

برتری اقتصادی کشورها به کارایی فناوری در سطح ملی وابسته است. رتبه‌بندی کشورهای تولیدکننده فناوری پیشرفته توسط بانک جهانی نشان می‌دهد که برخی کشورها صدرنشین تولید محصولات با فناوری پیشرفته هستند، درحالی‌که بسیاری از کشورها به‌عنوان انتقال‌گیرنده و مصرف‌کننده این محصولات شناخته می‌شوند. تفاوت‌های این کشورها ممکن است به قابلیت‌های زیرساختی، نهاد پژوهشی و بخش صنعت برمی‌گردد که اغلب به سرمایه انسانی بستگی دارد (Abolghasemian et al., 2024). سرمایه انسانی مؤثر در نوآوری و توسعه فناوری است و تأثیر بسزایی بر کارایی نهادهای پژوهشی و بخش صنعت هر کشور دارد. سیستم خلق نوآوری سازمانی یک سیستمی است که از فرایندها، ساختار، فرهنگ و منابع سازمانی برای تشویق و پشتیبانی از فرآیند خلق و پذیرش نوآوری در سازمان استفاده می‌کند. این سیستم از ترکیب عوامل مختلف مانند تحقیق و توسعه، همکاری تیمی، انگیزش کارکنان و مدیریت دانش برای تشویق نوآوری در سازمان استفاده می‌کند. اهداف اصلی این سیستم شامل بهبود عملکرد، رقابت‌پذیری و توسعه پایدار سازمان می‌باشد (Omrani et al., 2023). سیستم خلق نوآوری سازمانی نقش بسیار مهمی در ارتقای تکنولوژی دارد. این سیستم از طریق ایجاد یک زمینه مستعد برای پذیرش و توسعه نوآوری‌ها، افراد را تشویق به ارائه ایده‌های خلاقانه و بهبودهای فنی می‌کند. با ترکیب تحقیق و توسعه، همکاری تیمی فعال، مدیریت دانش و انگیزش کارکنان، این سیستم امکان ایجاد و توسعه فناوری‌های نوین را فراهم می‌کند (Sun et al., 2023). این اقدامات منجر به ارتقای تکنولوژی موجود، افزایش نوآوری، بهبود عملکرد محصولات و خدمات و درنهایت، تقویت رقابت‌پذیری سازمان در بازار می‌شود. پرداختن به نقش سیستم خلق نوآوری سازمانی در تولید علم در یک کشور اهمیت بسیار زیادی دارد (Zhang et al., 2023). این سیستم با ایجاد یک محیط مشوق برای توسعه دانش و ایده‌های نوین، تشویق به تحقیقات و توسعه و ارتقاء همکاری بین اعضای سازمان، به تولید علم و دانش در سطوح مختلف کمک می‌کند (Tavassoli & Saen, 2023). از طریق ایجاد این سیستم، کشورها می‌توانند بهبود عملکرد علمی خود را تسریع بخشیده و رشد و پیشرفت در زمینه‌های مختلف علمی و فناوری را ترویج کنند. این امر باعث افزایش توانمندی‌های کشور در رقابت جهانی و پیشرفت در حوزه‌های مختلف اقتصادی، فناوری و اجتماعی می‌شود (Liu et al., 2022).

تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک تکنیک ناپارامتریک سازوکاری مناسب برای تبیین امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی شناخته‌شده است (Zhu et al., 2022). تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی، برای ارزیابی کارایی DMU است که متشکل از چندین ورودی و خروجی هستند. در این روش منحنی مرزی کارا از یک سری نقاط که به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود ایجاد می‌گردد (Li et al., 2022). برای تعیین این نقاط می‌توان از دو فرض بازدهی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس استفاده کرد. روش برنامه‌ریزی خطی پس از یک سری بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم‌گیرنده موردنظر روی مرز کارایی قرارگرفته است و یا خارج آن قرار دارد (Amirian et al., 2022). بدین‌وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. درصورتی‌که روی مرز کارا قرار بگیرد امتیاز کارایی آن واحد را با مقدار یک و در غیر این صورت با مقداری بین صفر و یک مشخص می‌کند (Zhu et al., 2023). تکنیک DEA امتیاز کارایی هر DMU را بر اساس مقایسه با سایر DMUها محاسبه می‌کند، بنابراین با فراهم آوردن این مقایسه نسبی امتیاز کارایی محاسبه‌شده به‌عنوان کارایی نسبی در نظر گرفته می‌شود (Kassaei et al., 2023).

تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش غیر پارامتریک برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) است که در آن ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف موردبررسی قرار می‌گیرند. این روش به‌ویژه در زمینه‌های مختلفی مانند اقتصاد، مدیریت، بهداشت، آموزش و تولید به کار می‌رود و به تحلیل عملکرد سازمان‌ها و واحدهای مختلف کمک می‌کند (Abolghasemian et al., 2024). مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس مفهوم کارایی و بهره‌وری بناشده است. کارایی به معنای توانایی یک واحد در تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها به بهترین شکل ممکن است. در DEA، کارایی به دو دسته تقسیم می‌شود: کارایی فنی و کارایی تخصیصی. کارایی فنی به توانایی واحد در تولید حداکثر خروجی با توجه به ورودی‌های موجود اشاره دارد،

درحالی‌که کارایی تخصیصی به نحوه تخصیص بهینه منابع برای دستیابی به حداکثر خروجی می‌پردازد. روش تحلیل پوششی داده‌ها به‌صورت مقایسه‌ای عمل می‌کند و واحدهای مشابه را با یکدیگر مقایسه می‌کند. این مقایسه به‌وسیله ایجاد یک مرز کارایی انجام می‌شود که واحدهای کارا در آن قرار دارند و واحدهای ناکارا خارج از این مرز قرار می‌گیرند. تحلیل پوششی داده‌ها به‌طورمعمول از دو مدل اصلی استفاده می‌کند: مدل ورودی محور و مدل خروجی محور. مدل ورودی محور بر کاهش ورودی‌ها تمرکز دارد، درحالی‌که مدل خروجی محور بر افزایش خروجی‌ها تأکید می‌کند. یکی از مزایای تحلیل پوششی داده‌ها این است که نیازی به فرضیات توزیع خاصی درباره داده‌ها ندارد و می‌تواند با داده‌های واقعی و متنوع کار کند. همچنین، این روش می‌تواند به شناسایی واحدهای کارا و ناکارا کمک کند و زمینه‌ساز بهبود عملکرد در سازمان‌ها باشد. درنهایت، تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در ارزیابی عملکرد و بهبود کارایی سازمان‌ها شناخته می‌شود و می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تخصیص بهینه منابع کمک کند (Lou et al., 2024). مجموع مطالب فوق ضمن نشان دادن اهمیت بررسی سیستم خلق نوآوری سازمانی در سطح جهان، نشانگر اهمیت نقش آن در تولید علم در یک کشور است (Lou et al., 2024). بر این اساس و برای نیل به این هدف مهم، ضرورت دارد تا واحدهای پژوهشی در کشور، عملکرد مناسبی در تبدیل منابع اولیه اعم از افراد متخصص در حوزه تحقیق و توسعه، مخارج R&D، سهام انتشار نیافته، درآمد ناشی از فروش محصول جدید، اختراعات در حال اجرا، انتشار مقالات علمی داشته باشند. به‌عبارت‌دیگر کارایی در عملکرد واحدهای نوآور اهمیت زیادی در دستیابی به اهداف توسعه‌ای خلق نوآوری در سطح منطقه و جهان دارد. با توجه به کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه امتیاز کارایی واحدها، در این تحقیق یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مختلط که ترکیبی از ساختار سری و موازی است ارائه می‌شود. بر طبق این ساختار، فرآیند خلق نوآوری در هر واحد اجرایی از زیر واحدهایی تشکیل‌شده است که هم به‌صورت موازی و هم به‌صورت متوالی از یکدیگر قرارگرفته‌اند. علاوه بر این، ورودی و خروجی‌های در نظر گرفته‌شده برای محاسبه امتیاز کارایی به‌صورت احتمالی فرض شده‌اند. با بررسی ادبیات موضوع و تحقیقات داخلی می‌توان به‌وضوح دریافت که تحقیقی که به بررسی و مقایسه کارایی عملکرد واحدهای فناور در کشور با چنین ساختاری پرداخته باشد در دسترس نیست. این نقیصه مطالعاتی سبب می‌شود تا درک روشنی از کیفیت کارایی عملکرد واحدهای فناور تولیدکننده نوآوری در دسترس نباشد. بر این اساس و با این رویکرد در پیش گرفته‌شده در این تحقیق، مسئله اصلی این پژوهش این است که کارایی سازمان‌های خلق نوآوری در کشور چگونه است و ترتیب کارایی آن‌ها چگونه است؟ بر این اساس اهداف متصور برای این پژوهش عبارت‌اند از:

۱) بررسی میزان کارایی عملکرد واحدهای حلق نوآوری با استفاده از روش DEA شبکه‌ای مختلط

۲) به‌کارگیری ورودی و خروجی تصادفی در توسعه مدل DEA شبکه‌ای مختلط برای واحدهای خلق نوآوری

با توجه به موارد اشاره‌شده در بالا، در این تحقیق به بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های خلق نوآوری در سازمان‌ها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته‌شده است. در این راستا، به تحلیل شبکه‌ای سیستم‌های نوآوری توجه شده و ورودی‌ها و خروجی‌های تصادفی موردبررسی قرارگرفته‌اند؛ بنابراین، یکی از مزیت‌های اصلی این مطالعه، شناسایی و اندازه‌گیری کارایی واحدهای مختلف در فرآیند نوآوری و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد آن‌ها است. زیرا، نوآوری به‌عنوان یک عامل کلیدی در موفقیت سازمان‌ها شناخته می‌شود. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در فرآیند نوآوری، ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها نیازمند استفاده از روش‌های پیشرفته و دقیق است. تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش غیر پارامتریک، امکان ارزیابی کارایی واحدهای مختلف را فراهم می‌آورد و در این تحقیق، با توجه به ویژگی‌های خاص سیستم‌های نوآوری، به تحلیل شبکه‌ای پرداخته‌شده است. برای این منظور، ابتدا ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با فرآیند نوآوری شناسایی می‌شوند. سپس با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ، کارایی واحدهای مختلف در شبکه نوآوری ارزیابی می‌شود. به‌منظور افزایش دقت نتایج، ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شوند و تحلیل‌های لازم انجام می‌گیرد.

باقیمانده مقاله به صورتی که مشخص‌شده سازمان‌دهی شده است. در ابتدا یک مرور ادبیات ارائه‌شده است. برای

این منظور مبانی نظری برای معرفی مفاهیم عملیاتی تحقیق ارائه‌شده و سپس یک پیشینه تاریخی برای شناسایی شکاف تحقیق ارائه‌شده است. در بخش بعدی، روش پیشنهادی تحقیق برای محاسبه امتیاز کارایی ارائه‌شده است. سپس، نتایج به‌کارگیری مدل پیشنهادی در یک مورد مطالعاتی واقعی ارائه‌شده است و سرانجام، در بخش پایانی یک نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه‌شده است.

۲- مبانی نظری پژوهش

در این بخش از تحقیق به معرفی مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته‌شده است. برای این منظور، ابتدا مدل‌های پایه اعم از CCR و BCC و ساختار سری و موازی شبکه معرفی‌شده و سپس پیشینه تاریخی تحقیق در میان مطالعات داخلی و خارجی به‌منظور شناسایی شکاف تحقیق ارائه‌شده است.

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌ها

برای اندازه‌گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی‌شده است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز و بنکر، کوپر و چارنز از مدل‌های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شوند، که الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند ورودی و چند خروجی هستند؛ و به ترتیب از نوع فنّاوری بازده به مقیاس ثابت و متغیر می‌باشند. در این روش با به‌کارگیری مجموعه‌ای از نقاط که توسط برنامه‌ریزی خطی تعیین‌شده‌اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می‌شود. روش برنامه‌ریزی خطی با یک سری بهینه‌سازی، مشخص می‌شود که آیا واحدهای تصمیم‌گیری مدنظر روی خط کارایی قرارگرفته است یا خارج از آن قرار دارند. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری از طریق فرآیند تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها است. واحدی که دارای کارایی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارایی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا شناخته می‌شوند. فرم مضربی خطی شده ورودی محور مدل CCR به‌صورت معادلات ۱ تعریف می‌شود (Pashapour et al., 2019).

$$\begin{aligned} &\min \ \sum_{i=1}^{m} v_i \, x_{io} \\ &\text{s.t} \quad \sum_{j=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0 \\ &\sum_{j=1}^{n} u_r y_{ro} = 1 \\ &v_i \geq 0; \ i = 1. \dots . m \\ &u_r \geq 0; \ r = 1. \dots . s \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در مجموعه معادلات (۱)، y_{rj} مقدار خروجی r ام تولیدشده به‌وسیله DMU_j، x_{ij} مقدار ورودی i ام تولیدشده به‌وسیله DMU_j، u_r وزن داده‌شده به خروجی r ام و v_i وزن داده‌شده به ورودی i ام می‌باشد. بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل CCR با اضافه کردن قید تحدب مشاهدات به مدل یعنی $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ در مدل برنامه‌ریزی ریاضی یک مدل جدید ایجاد کردند. با توجه به اینکه با افزایش قیود در مدل برنامه‌ریزی خطی، ناحیه شدنی کوچک‌تر می‌شود، لذا مقدار بهینه تابع هدف بهتر نمی‌شود، پس اگر θ^*_{CCR} مقدار بهینه مدل CCR و θ^*_{BCC} مقدار بهینه مدل BCC در ارزیابی واحد تحت ارزیابی باشند، آنگاه همواره رابطه (۲) همواره برقرار است (Valera & Agarwal, 2019).

$$\theta^*_{BCC} \geq \ \theta^*_{CCR} \ \geq 1 \qquad (۲)$$

واحد تحت ارزیابی در مجموعه امکان تولید BCC کارا است اگر و فقط اگر $\theta^*_{BCC} = 1$ در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی ناکارا خواهد بود $(1-\theta^*)$. به‌عبارت‌دیگر واحد تحت ارزیابی کارای BCC است اگر و تنها اگر برای هر جواب بهینه $(\theta^* و \lambda^* و s^{+^*} و s^{-^*})$ در مدل BCC دو شرط $\theta^*_{BCC} = 1$ و متغیرهای کمکی s^{-^*} و s^{+^*} همه صفر باشند برقرار باشد. در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی را ناکارای BCC می‌نامند که نشان‌دهنده ناکارایی در ماهیت ورودی است (Farashah et al., 2020). درواقع مدل مضربی BCC ورودی محور مطابق معادله (۳) در زیر است.

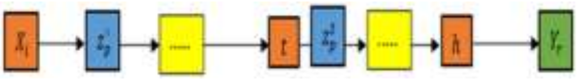
$$\begin{aligned} &\min \ \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + v_o \\ &s.t \quad \sum_{i=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + v_o \geq 0 \\ &j = 1. \dots . n \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} = 1 \\ &v_i \geq 0; \ i = 1. \dots . m \\ &u_r \geq 0; \ r = 1. \dots . s \\ &v_o \ \text{آزاد در علامت} \end{aligned} \qquad (۳)$$

مدل‌های CCR و BCC دو مدل مهم در تحلیل پوششی داده‌ها هستند. تفاوت اصلی بین این دو مدل در نحوه تعیین مقیاس‌پذیری آن‌ها است. در مدل CCR، فرض می‌شود که تمام واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس ثابت هستند (Asadi et al., 2020). در این مدل، به هر واحد تولیدی یک وزن ثابت تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود. اما در مدل BCC، فرض می‌شود که واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس‌پذیری متغیر تبعیت می‌کنند. در این مدل، به هر واحد تصمیم‌گیری یک وزن متغیر تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود (Noveiri et al., 2020).

۲-۲- شبکه سری DEA

یک سیستم سری با h فرآیند در شکل **۱** نشان داده‌شده است. فرض می‌کنیم X_{ij} و Y_{rj} به‌عنوان ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تعریف شوند. Z_{pj}^{t} نشان‌دهنده p امین محصول میانی فرآیند t برای DMU_j است. محصولات میانی فرآیند t، خروجی فرآیند t و ورودی فرآیند $t+1$ هستند. فرض می‌کنیم که محصول میانی آخرین فرآیند h خروجی سیستم در نظر گرفته می‌شود. تعداد محصولات میانی q به ازای فرآیندهای مختلف متفاوت است، اما اینجا برای سادگی در نمادگذاری فرض می‌کنیم برای همه فرآیندها یکسان هستند (Mahboubi et al., 2022). W_p^t ضریب یا درجه اهمیت p امین محصول میانی فرآیند t در نظر گرفته‌شده است. کارایی DMU_k با استفاده از مجموعه معادلات ۴ محاسبه می‌شود.

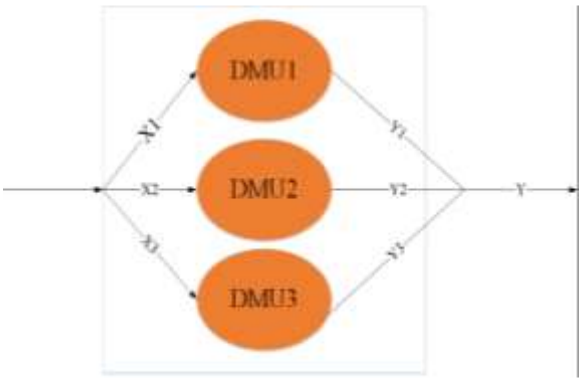
$$
\begin{aligned}
& E_k = \max \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rk} \\
& \text{s.t} \\
& \sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} \le 0;\ j = 1. \dots .n \\
& \sum_{r=1}^{s} w_p^1 z_{pj}^1 - \sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} \le 0;\ j = 1. \dots .n \\
& \sum_{r=1}^{s} w_p^1 z_{pj}^t - \sum_{i=1}^{m} w_p^{t-1} z_{pj}^{t-1} \le 0 \\
& t = 2. \dots .h-1 \\
& j = 1. \dots .n \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} w_p^{h-1} z_{pj}^{h-1} \le 0 \\
& j = 1. \dots .n \\
& u_r . v_i \ge 0;\ r = 1. \dots .s;\ i = 1. \dots .m \\
& p = 1. \dots .q;\ t = 1. \dots .h-1
\end{aligned} \tag{۴}
$$



شکل (۱): ساختار سری (محبوبی و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۳- شبکه موازی DEA

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای درواقع به مجموعه‌ای ازاین‌دست تلاش‌ها گفته می‌شود که به‌منظور گشودن جعبه سیاه و به‌حساب آوردن ناکارایی زیر واحدها انجام‌شده است (Mousavi et al., 2023). در میان مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های گروهی، سیستم‌های موازی که زین پس به‌اختصار مدل کائو (Arana-Jiménez et al., 2021) نامیده می‌شود، برای حالت خاصی کاربرد دارد. در این مدل فرض می‌شود که هر واحد تصمیم‌گیرنده متشکل از چندین زیر واحد یا واحد تبعی است که به‌طور موازی و مستقل از یکدیگر فعالیت می‌کنند (Kordrostami et al., 2019). این همان چیزی است که می‌تواند مشخصه یک گروه از واحدهای تصمیم‌گیرنده قلمداد گردد که در شکل **۲** نمای کلی چنین سیستمی نشان داده‌شده است.



شکل (۲): نمای کلی یک سیستم موازی (Mahboubi et al., 20).

با فرض اینکه n گروه با i ورودی و r خروجی مورد مقایسه قرار می‌گیرد و در گروه j تعداد q_j واحد وجود دارد. کائو

فرض می‌کند ورودی i ام گروه j یعنی X_{ij} با مجموع ورودی i ام واحدهای آن یعنی $\sum_{p=1}^{q_j} x_{ij}$ و خروجی r ام گروه j یعنی Y_{rj} با مجموع خروجی r ام واحدهای آن یعنی $\sum_{p=1}^{q_k} y_{ij}$ برابر است. بنابراین، در مورد گروه k ام تحت ارزیابی روابط شماره ۵ برقرار است (نویری و کردرستمی، ۲۰۲۳).

$$X_{ik} = \sum_{p=1}^{q_k} x_{ik}^p;\ Y_{rk} = \sum_{p=1}^{q_k} y_{rk}^p \quad (۵)$$

کائو، برای تشریح مدل خود از یک مدل به‌صورت زیر برای گروه‌های تحت ارزیابی می‌نویسد که در آن قید k ام قید متناظر با واحد تحت ارزیابی از قیدهای دیگر جداشده و با اضافه کردن متغیرهای کمکی محدودیت‌ها در مدل به شکل تساوی به‌صورت مجموعه معادلات ۶ بیان‌شده است.

$$\begin{aligned}
&\max \theta_k \sum_{r=1}^{s} U_r Y_{rk} \\
&\sum_{i=1}^{m} V_i X_{ik} = 1 \\
&\sum_{r=1}^{s} U_r Y_{rk} - \sum_{i=1}^{m} V_i X_{ik} + S_k = 0 \\
&\sum_{r=1}^{s} U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} V_i X_{ij} + S_j = 0 \\
&j \neq k; j = 1. \dots . n
\end{aligned} \quad (۶)$$

۲-۴- پیشینه پژوهش

سلطانی فر (سلطانی فر، ۲۰۲۴) در مطالعه خود یک ارزیابی برای مراکز درمانی و بیمارستانی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها انجام داده‌اند. برای این منظور، پس از بررسی برخی معیارهای نسبتی برای ارزیابی بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی دولتی، مدل‌های DEA-R برای رسیدگی به این داده‌ها هم در موارد داده‌های غیرمنفی و هم در موارد منفی ارائه‌شده است. صوفی (Soufi, 2024) یک چارچوب برای تصمیم‌گیری در خصوص رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های قطعی و غیرقطعی در مراکز درمانی ارائه کرده است. این سیستم بر اساس ارتباطات بی‌سیم، شبکه‌های اجتماعی، حسگرها، ربات‌ها، هوش مصنوعی، ابر و داده‌های سلامت هوشمند ساخته‌شده است. برای این منظور، ویژگی‌هایی از قبیل فاصله بیمارستان تا محل سکونت، تعداد تخت‌های بیمارستانی و تعداد پزشکان متخصص برای ارزیابی مورداستفاده قرارگرفته است.

سرانجام، از چند روش تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی ویژگی‌های ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت هوشمند مراقبت‌های بهداشتی استفاده‌شده است. امیر تیموری و همکاران (Amirteimoori et al., 2023) در مطالعه خود سه جنبه اصلی هزینه، درآمد و نزدیک‌ترین نقاط پیش‌بینی را بر اساس یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین واحدهای کارا و ناکارا بررسی کردند. روش پیشنهادی نزدیک‌ترین فاصله ممکن، کمترین هزینه و بیشترین درآمد را به‌طور هم‌زمان برای تعیین امتیاز کارایی در نظر می‌گیرد. نتایج اجرای این رویکرد در صنعت نساجی چین، قابلیت کاربرد مدل را نشان داده است. واعظی (Vaezi, 2023) کارایی چند آزمایشگاه تشخیص پزشکی منتخب در شهر تهران را بر اساس رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه ارزیابی کرده است. برای این منظور، یک ساختار چهار مرحله‌ای با ورودی‌های اضافی و خروجی‌های نامطلوب در مدل ارائه‌شده توسط وی در نظر گرفته‌شده است که عملکرد آزمایشگاه‌ها را در یک دوره ۶ ماهه در سال ۲۰۲۲ با فرآیند تحلیل NDEA محاسبه‌شده است. برای این هدف، یک مدل ساختاری چهار مرحله‌ای از سه فرآیند اصلی آزمایشگاه تشخیص پزشکی به‌عنوان پیش‌آزمون، آزمون و پس‌آزمون طراحی‌شده است. علاوه بر این، معیارهای پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) برای ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها در نظر گرفته‌شده است. با استفاده از دیدگاه دلفی، معیارهای ارزیابی کارایی به‌دست‌آمده است. سپهریان و همکاران (Sepehrian et al., 2022) در مطالعه خود رویکردی مبتنی بر تحلیل مرزی دوگانه برای تعیین اولویت‌ها در AHP پیشنهاد کرده‌اند. در این رویکرد، از دو مدل خاص DEA برای به دست آوردن بهترین اولویت‌های محلی از یک یا گروهی از ماتریس‌های مقایسه زوجی استفاده‌شده است. روش پیشنهادی وزن‌های واقعی را برای ماتریس‌های مقایسه‌ای قادر است ارائه نماید. واعظی و همکاران (Kushalshah et al., 2023) در تحقیق خود یک سیستم سه مرحله‌ای، متشکل از شش زیر DMU را در ترکیب با ورودی‌های اضافی و خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفته‌اند. مدل‌های پیشنهادی شبیه‌سازی امتیاز کارایی یک کارخانه را با یک منطقه تولید و سه انبار برای ذخیره‌سازی کالا و دو نقطه تحویل ارائه کرده است. برای این منظور، از مدل DEA مضربی با رویکرد فازی برای اندازه‌گیری کارایی یک سیستم عمومی و بهبود دقت کارایی

استفاده‌شده است.

بر اساس موارد اشاره‌شده در بالا و بررسی ادبیات تحقیق مهم‌ترین شکاف‌های تحقیق حاضر به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است:

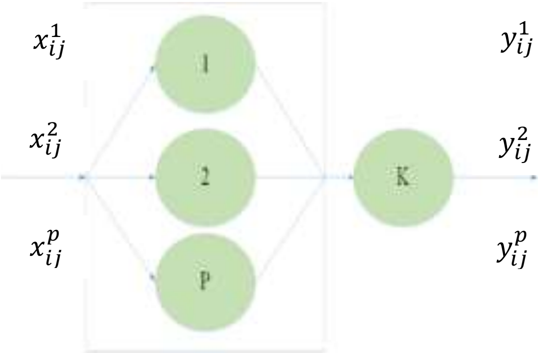
۱) ارزیابی نقطه قوت و ضعف سازمان‌های نوآور از طریق مدل DEA و مقایسه آن با نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های سنتی

۲) بررسی تأثیر ورودی و خروجی تصادفی در شبکه مختلط DEA

۳- روش‌شناسی پژوهش

شبکه DEA قبلاً در تحقیقات مختلفی موردتوجه قرارگرفته‌اند. دو ساختار عمده در سیستم‌های شبکه وجود دارد، سری و موازی که بسته به عملکرد زیر واحدها، سیستم‌های موازی را به دو نوع، چند جزئی و چندمنظوره تقسیم می‌کنند. نوع اول، به این معنی است که هر زیر واحد دارای عملکرد یکسان با ورودی‌ها و خروجی‌های یکسان است، درحالی‌که ممکن است ورودی و خروجی از یک زیر واحد به زیر واحد دیگر در نوع بعدی متفاوت باشد. ازاین‌رو، در این مطالعه ما بر روی سیستم موازی چندمنظوره تمرکز می‌کنیم، که در آن هر زیر واحد ورودی یا خروجی متفاوتی دارد. شکل **۳** ساختار سیستم موازی چندمنظوره را با ورودی‌های یکسان برای تولید خروجی‌های مختلف نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل **۳** نشان داده‌شده است، ما یک سیستم موازی شامل k زیر واحد را در نظر می‌گیریم که در آن هر زیر واحد به‌طور مستقل بدون اتصال به خروجی‌های میانی عمل می‌کند. برای یک $DMU_j; j = 1.\dots.n$ زیر واحد $P(p = 1$و ... و$k)$ ورودی‌های ناهمگن $xp_{ij}\ (i \in S_p)$ را مصرف می‌کنند که این ورودی‌ها از خارج سازمان تأمین می‌شود. مجموعه S_p شامل ورودی‌های مورداستفاده برای زیر واحد p است. این ورودی‌ها برای تولید خروجی $yp_{rj}(r \in O_p)$ که مجموعه Op شامل خروجی‌های مورداستفاده برای زیر واحد p و $Op \subset \{1$و2و...و$s\}$ است، به این معنی که یک زیر واحد می‌تواند از بقیه متفاوت باشد و زیر واحدها را ناهمگن می‌کند. لازم به ذکر است که ساختار مختلط یک ساختار ترکیبی از دو ساختار موازی و متوالی در تحلیل شبکه است که پیوند بین زیر واحدهای موازی و متوالی در آن وجود دارد.



شکل (۳): مدل مختلط با ورودی و خروجی‌های ناهمگن.

فرض می‌کنیم در واحد تصمیم‌گیری موازی نشان داده‌شده در شکل ۱، مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها به ترتیب به‌صورت $\tilde{x}_j = (\tilde{x}_{1j}.\dots.\tilde{x}_{mj})$ و $\tilde{y}_j = (\tilde{y}_{1j}.\dots.\tilde{y}_{sj})$ به‌صورت تصادفی می‌باشد. بنابراین، مدل در حالت کلی مطابق با مجموعه معادلات (۷) ایجاد خواهد شد.

$$\max E = \frac{\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{ro}^p}{\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{io}}$$
$$\text{s.t}$$
$$\left(\frac{\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{rj}^p}{\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij}} \le \beta_0\right) \ge 1 - \alpha_j \tag{۷}$$
$$v_i\,.u_r \ge 0$$
$$i = 1.\dots.m;\ j = 1.\dots.n;\ o_p = 1.\dots.p$$

در مدل (۷)، هم در تابع هدف و هم در محدودیت دارای کسر و پارامترهای غیرقطعی هستیم که مسئله را از فرم خطی و دقیق آن دور می‌کند. لذا، لازم است تا نسبت به خطی‌سازی و از بین بردن اثرات نادقیقی پارامترها اقدام نماییم. برای این منظور ابتدا از محدودیت‌ها اقدام می‌نماییم. برای این منظور عبارت داخل پرانتز را ساده‌سازی می‌نماییم. بنابراین، داریم:

$$\left(\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \le 0\right) \ge 1 - \alpha_j \tag{۸}$$

یکی از مراحل کلیدی در استفاده از روش ارائه‌شده تعیین توزیع آماری مربوط به ضرایب می‌باشد. برای این منظور، توزیع نرمال را برای عبارت داخل پرانتز مطابق رابطه (۹) می‌سازیم.

$$\frac{(\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij}) - (\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i x_i}{\delta\left(\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij}\right)} \le \frac{-(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i x_{ij})}{\delta(\sum_{r\in o_p} u_r \tilde{y}_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij})} \tag{۹}$$

عبارت

$$\frac{(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j \sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij}) - (\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij})}{\delta(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij})}$$

را که یک متغیر تصادفی با توزیع آماری نرمال استاندارد $N(0;1)$ می‌باشد، برابر با یک متغیر تصادفی بنام $\tilde{\zeta}_j$ در نظر می‌گیریم. بنابراین رابطه ۱۰ ایجاد می‌شود.

$$\tilde{\zeta}_j \le \frac{-(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij})}{\delta(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij})} \qquad (۱۰)$$

با توجه به خصوصیات توزیع نرمال با رابطه ۱۱روبرو خواهیم شد.

$$\phi\left(\frac{-\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\right)}{\delta\left(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij}\right)}\right) \ge (1-\alpha_j) \qquad (۱۱)$$

با توجه به اینکه تابع ϕ وارون‌پذیر است عبارت رابطه ۱۱ را به‌صورت رابطه ۱۲ نیز می‌توانیم در نظر بگیریم.

$$\left(\frac{-\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\right)}{\delta\left(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij}\right)}\right) \ge \phi^{-1}(1-\alpha_j) \qquad (۱۲)$$

با توجه به اینکه در صورت عبارات تصادفی از بین رفته است ولی در مخرج رابطه هنوز عبارات تصادفی و غیرقطعی موجود می‌باشد، بنابراین، کل عبارت مخرج یعنی $\delta\left(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{ij}\right)$ را با یک متغیر پیوسته مانند μ_j جایگزین می‌شود و بر اساس خصوصیات توزیع نرمال و ساده‌سازی انجام‌شده در عبارت به رابطه ۱۳ تبدیل خواهند شد.

$$\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\right) - \phi^{-1}(\alpha_j)\mu_j \le 0 \qquad (۱۳)$$

بنابراین، محدودیت غیرقطعی (تصادفی) به‌صورت قطعی مطابق با رابطه ۱۲ بجای محدودیت مدل ۷ جایگزین می‌شود و مدل ۱۴ ایجاد می‌شود.

$$\begin{aligned}
&\max E = \frac{\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p}{\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io}} \ge \beta_0\\
&\text{s.t}\\
&\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\right) - \phi^{-1}(\alpha_j)\mu_j \le 0 \qquad (۱۴)\\
&v_i\,.u_r\,.\mu_j \ge 0\\
&i = 1.\dots.m;\ j = 1.\dots.n;\ o_p = 1.\dots.p
\end{aligned}$$

بر اساس مدل ۱۴، مشاهده می‌شود که محدودیت‌های مسئله به فرم خطی تبدیل‌شده‌اند. ولی هنوز تابع هدف دارای کسر و پارامترهای تصادفی می‌باشد. برای حل این مشکل عبارت کسری E را برابر با λ به‌عنوان یک متغیر آزاد در علامت در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه مسئله از نوع ماکزیمم سازی است مقدار عبارت کسری E بزرگ‌تر از λ به‌عنوان یک نامعادله در محدودیت قرار می‌گیرد. در این صورت‌مسئله ۱۴ مطابق با مسئله ۱۵ ایجاد می‌شود.

$$\begin{aligned}
&\max \lambda\\
&\text{s.t}\\
&\left(\frac{\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p}{\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io}} \ge \beta_0\right) \le \lambda\\
&\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^p - \beta_j\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}\right) - \phi^{-1}(\alpha_j)\mu_j \le 0 \qquad (۱۵)\\
&v_i.u_r.\mu_j \ge 0\\
&i = 1.\dots.m;\ j = 1.\dots.n;\ o_p = 1.\dots.p
\end{aligned}$$

بر اساس این تبدیل در تابع هدف، مشاهده می‌شود که مجدداً در محدودیت اول دارای عبارت کسری و مقدار غیرقطعی وجود دارد که مسئله را از حالت خطی دور می‌کند. بنابراین، مانند حالت قبل برای تبدیل خطی به‌صورت مجموعه معادلات ۱۶ عمل می‌کنیم.

$$\begin{aligned}
&\left(\frac{\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p}{\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io}} \ge \beta_0\right) \le \lambda\\
&\left(\sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p \ge \beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io}\right) \le \lambda\\
&(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p \le 0) \le \lambda\\
&\frac{\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p - (\beta_0\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^p)}{\sigma(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p)} \qquad (۱۶)\\
&\le \frac{-(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^p)}{\sigma(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p)}\\
&\boldsymbol{\varphi}\left(\frac{-\left(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^p\right)}{\sigma(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p)}\right) \le \lambda\\
&\frac{-\left(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^p\right)}{\sigma(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p)} \ge \phi^{-1}(\lambda)
\end{aligned}$$

با ملحوظ دانستن $\sigma(\beta_0\sum_{i=1}^m v_i\tilde{x}_{io} - \sum_{r\in o_p} u_r\tilde{y}_{ro}^p) = M$ عبارت موردنظر را ساده می‌نماییم. و رابطه ۱۷ ایجاد می‌شود.

$$\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^p - \beta_0\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - \phi^{-1}M\lambda\right) \le 0 \qquad (۱۷)$$

در رابطه ۱۷، مشاهده می‌شود که مقادیر غیردقیق به دقیق تبدیل‌شده‌اند اما، در عبارت $\phi^{-1}M\lambda$ حاصل‌ضرب دو متغیر وجود دارد که مسئله را به حالت غیرخطی تبدیل می‌کند. برای حل این مسئله متغیر پیوسته Δ را بجای حاصل‌ضرب $M\lambda$ در رابطه در نظر می‌گیریم. سرانجام، شکل نهایی رابطه ۱۷ مطابق با رابطه ۱۸ ایجاد می‌شود.

$$\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^{p} - \beta_0 \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} - \Delta\phi^{-1}\right) \leq 0 \qquad (۱۸)$$

سرانجام، مدل قطعی و خطی شده شبکه با خروجی تصادفی ناهمگن مطابق با مجموعه معادلات ۱۹ در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{aligned}
&\max \lambda\\
&s.t\\
&\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{ro}^{p} - \beta_0 \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} - \Delta\phi^{-1}\right) \leq 0\\
&\left(\sum_{r\in o_p} u_r y_{rj}^{p} - \beta_j \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}\right) - \phi^{-1}(\alpha_j)\mu_j \leq 0\\
&v_i\,.\,u_r\,.\,\mu_j\,.\,\Delta \geq 0\\
&i = 1.\dots.m;\ j = 1.\dots.n;\ o_p = 1.\dots.p
\end{aligned} \qquad (۱۹)$$

۴- یافته‌های تحقیق

در این بخش از تحقیق به‌منظور، نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی به ارزیابی عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی چهار شرکت دانش‌بنیان در حوزه الکترونیک پرداخته‌شده است.

اطلاعات عددی مربوط به هر یک از این شرکت‌های دانش‌بنیان به ازای هر نوع از ورودی و خروجی در جدول (۱) نشان داده‌شده است. این ورودی‌ها و خروجی از مطالعات (Mahboubi et al., 2022؛ Arana-Jiménez et al., 2021؛ Noveiri & Kordrostami et al., 2023؛ Kushalshah et al., 2023) گرفته‌شده است. با به‌کارگیری داده‌های مربوطه در مدل ریاضی توسعه داده‌شده، نتایج کارایی قابل‌محاسبه خواهند بود. به‌منظور اینکه مقایسه بر اساس ورودی با کمیت‌های مختلف منطقی و معنی‌دار باشد لازم است کمیت از واحد اندازه‌گیری آن‌ها حذف شود. برای این منظور از روش خطی برای نرمال‌سازی داده‌های مربوط به ورودی و خروجی مسئله مطابق با رابطه $\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}$ استفاده‌شده است. در جدول **۲** مقادیر نرمال شده داده‌های ورودی نشان داده‌شده است.

در شکل **۴**، ساختار ترکیبی در نظر گرفته‌شده برای ارزیابی سیستم خلق نوآوری ، نشان داده‌شده است.



شکل (۴): ساختار ترکیبی مدل پیشنهادی.

جدول (۱): داده‌های مسئله

شرکت‌ها	ورودی: مخارج R&D (میلیون ریال)	ورودی: تعداد افراد متخصص R&D (نفر)	ورودی: سهام انتشار نیافته (هزار میلیون ریال)	خروجی: درآمد ناشی از فروش محصول جدید (صد میلیون ریال)	خروجی: تعداد اختراعات در حال اجرا –	خروجی: درآمد ناشی از انتقال پیشنهادهای نوآور (صد میلیون ریال)	خروجی: تعداد مقالات علمی –
مغناطیس دانش‌پژوه	۱۶۰۳۵۴۲۲۳	۷۳۹	۱۰۰۰	۱۹/۶۱	۴۳	۸۲	۲۰
موج‌نمای افق	۱۱۶۰۶۹۶۷۶	۸۱۱	۳۳۰۰	۲۶/۱۶	۳۳	۷۵	۱۴
مکاترونیکس	۷۸۷۲۴۵۰۸	۱۳۷۱	۶۶۰	۴۸/۸۷	۶۸	۱۰۱/۸	۳۹
مگا موج	۱۶۹۳۰۲۶۲۰	۵۶۷	۱۶۵۰	۱/۰۷	۱۷	۹۶	۱۲
مجموع	۵۲۴۴۵۱۰۲۷	۳۴۸۸	۶۶۱۰	۹۵/۷۱	۱۶۱	۳۵۴/۸	۸۵

جدول (۲): داده‌های نرمال شده ورودی و خروجی

شرکت‌ها	ورودی			خروجی			
	مخارج R&D (میلیون ریال)	تعداد افراد متخصص R&D (نفر)	سهام انتشار نیافته (میلیون ریال)	درآمد ناشی از فروش محصول جدید (صد میلیون ریال)	تعداد اختراعات در حال اجرا –	درآمد ناشی از انتقال پیشنهادهای نوآور (صد میلیون ریال)	تعداد مقالات علمی –
مغناطیس دانش‌پژوه	۰/۳۰۵۷۵۶۳۳۳	۰/۲۱۱۸۶۹۲۷	۰/۱۵۱۲۸۵۹۳	۰/۲۰۴۸۸۹۷۷۱	۰/۲۶۷۰۸۰۷۴۵	۰/۲۳۱۱۱۶۱۲۲	۰/۲۳۵۲۹۴۱۱۸
موج‌نمای افق	۰/۲۲۱۳۱۶۵۲	۰/۲۳۲۵۱۱۴۷	۰/۴۹۹۲۴۳۵۷	۰/۲۷۳۳۲۵۶۷۱	۰/۲۰۴۹۶۸۹۴۴	۰/۲۱۱۳۸۶۶۹۷	۰/۱۶۴۷۰۵۸۸۲
مکاترونیکس	۰/۱۵۰۱۰۸۴۰۷	۰/۳۹۳۰۶۱۹۳	۰/۰۹۹۸۴۸۷۱۴	۰/۵۱۰۶۰۴۹۵۲	۰/۴۲۲۳۶۰۲۴۸	۰/۲۸۶۹۲۲۲۱	۰/۴۵۸۸۲۳۵۲۹
مگا موج	۰/۳۲۲۸۱۸۷۴۱	۰/۱۶۲۵۵۷۳۴	۰/۲۴۹۶۲۱۷۸۵	۰/۰۱۱۱۷۹۶۰۵	۰/۱۰۵۵۹۰۰۶۲	۰/۲۷۰۵۷۴۹۷۲	۰/۱۴۱۱۷۶۴۷۱

سپس، با به‌کارگیری داده‌های فوق در مدل توسعه داده‌شده امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی قابل‌محاسبه است. برای این منظور، مدل ارائه‌شده در نرم‌افزار گمز فرمول نویسی شده است. مدل توسعه داده‌شده با استفاده از ابزار BARON موجود در نرم‌افزار گمز حل‌شده است که مدت زمان اجرای آن تا حصول نتیجه حدود ۵ ثانیه به طول می‌انجامد. در جدول **۳**، مقدار امتیاز کارایی سیستم‌های خلق دانش هر یک از واحدهای دانش‌بنیان ارائه‌شده است.

جدول (۳): امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی

شرکت‌ها	امتیاز کارایی	وضعیت
مغناطیس دانش‌پژوه	۱/۰۰۰	کارا
موج نمای افق	۰/۹۷۰	ناکارا
مکاترونیکس	۱/۰۰۰	کارا
مگا موج	۰/۸۷۰	ناکارا

با توجه به اینکه در محاسبه مقدار امتیاز کارایی واحدهایی که مقدار کارایی آن‌ها برابر با یک باشد به‌عنوان واحد کارا و در غیر این صورت به‌عنوان واحد ناکارا محسوب می‌شوند، شرکت‌های دانش‌بنیان مغناطیس دانش‌پژوه و مکاترونیکس به‌عنوان واحد کارا و شرکت‌های موج نمای افق و مگاموج به‌عنوان واحد ناکارا در نظر گرفته‌شده‌اند. با توجه به اینکه دو واحد تولیدی مغناطیس دانش‌پژوه و مکاترونیکس با امتیاز کارایی یک روبرو شده‌اند تفکیک اولویت بین آن‌ها کار مشکلی خواهد بود. برای این منظور، از روش اولویت‌بندی اندرسون پترسون استفاده‌شده است تا اولویت‌بندی واحدهای تولیدی محاسبه شود. طبق روش اندرسون پترسون واحدهای کارا ممکن است با یک امتیاز ابر کارایی منحصربه‌فرد بیشتر از یک روبرو شوند. نتایج اجرای روش اندرسون پترسون در جدول **۴** نشان داده‌شده است.

جدول (۴): امتیاز ابر کارایی اندرسون پترسون

شرکت‌ها	امتیاز ابر کارایی	اولویت
مغناطیس دانش‌پژوه	۱/۶۲۹	دوم
موج نمای افق	۰/۴۷۵	سوم
مکاترونیکس	۲/۵۵۰	اول
مگا موج	۰/۱۸۸	چهارم

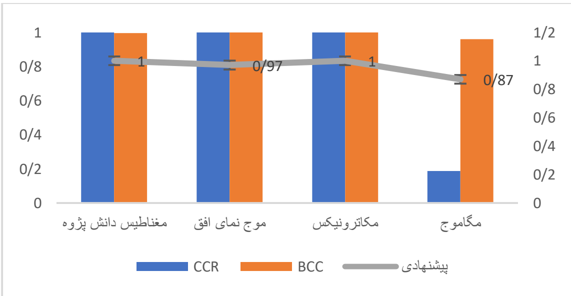
با اجرای روش اندرسون پترسون، اولویت واحدهای دانش مکاترونیکس، مغناطیس دانش‌پژوه، موج نمای افق و مگا موج به ترتیبی که مشخص‌شده، نشان داده‌شده است. به‌منظور، مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های پایه CCR و BCC جهت اعتبارسنجی مدل توسعه داده‌شده، اقدام شده است. در جدول **۵**، امتیاز کارایی بر اساس این دو مدل نشان داده‌شده است. اختلاف‌نظر بین مدل پیشنهادی و مدل‌های پایه بر روی شرکت تولیدی مغناطیس دانش‌پژوه و موج نمای افق است. به‌طوری‌که این واحد دانش‌بنیان، مغناطیس دانش‌پژوه طبق مدل پیشنهادی به‌عنوان واحد کارا و در مدل BCC به‌عنوان واحد ناکارا شناسایی‌شده است. همچنین، شرکت موج نمای افق طبق مدل پیشنهادی به‌عنوان واحد ناکارا شناسایی‌شده است و در روش CCR و BCC به‌عنوان واحد کارا معرفی‌شده است. با توجه به اینکه اختلاف مدل پیشنهادی با روش CCR و BCC جزئی و در

حد ۰/۰۳ و ۰/۰۰۵ می‌باشد لذا، اعتبار مدل در مقایسه با الگوهای پایه تأیید می‌شود. دلیل بهبود کارایی در روش BCC و مدل پیشنهادی نسبت به مدل CCR این است که مرزی که از طریق دو مدل ساخته می‌شود بهتر می‌تواند مجموعه امکان تولید را در نظر بگیرد. اما مرز امکان تولید در CCR به‌صورت یک خط ساده است که قادر به تخمین درستی از کارایی میان واحدهای تحت ارزیابی نخواهد بود.

جدول (۵): امتیاز کارایی بر اساس مدل‌های پایه

شرکت‌ها	امتیاز کارایی CCR	وضعیت	امتیاز کارایی BCC	وضعیت
مغناطیس دانش‌پژوه	۱/۰۰۰	ناکارا	۰/۹۹۵	ناکارا
موج نمای افق	۱/۰۰۰	کارا	۱/۰۰۰	کارا
مکاترونیکس	۱/۰۰۰	کارا	۱/۰۰۰	کارا
مگا موج	۰/۱۸۸	ناکارا	۰/۹۶۰	ناکارا

در شکل **۵** نتایج هر یک از شرکت‌ها دانش‌بنیان بر اساس سیستم خلق نوآوری سازمانی نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل پیشنهادی در مقایسه با سایر مدل‌های پایه عملکرد مشابه با آن‌ها یا بهتر داشته است. تنها در مورد شرکت مگا موج این قضیه صادق نیست. زیرا، مدل CCR بهتر از هم مدل پیشنهادی و مدل BCC عمل می‌کند. اما در کلیت طبق هر سه مدل این شرکت به‌عنوان واحد ناکارا محسوب شده است.



شکل (۵): مقایسه نتایج مدل پیشنهادی و مدل‌های پایه BCC و CCR.

۵- نتیجه‌گیری

در حوزه مدیریت و بهبود عملکرد سازمان‌ها، سیستم‌های خلق نوآوری از اهمیت بسزایی برخوردارند. ارزیابی دقیق و صحیح عملکرد این سیستم‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از سوی دیگر، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به‌عنوان یک روش تحلیلی پیشرفته، می‌تواند به محققان و مدیران کمک کند تا با بهره‌گیری از داده‌های ورودی و خروجی تصادفی، عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی را بهبود ببخشند و نقاط قوت و ضعف آن را شناسایی کنند. برای این منظور، مقاله حاضر به بررسی ارتباط بین سیستم خلق نوآوری و تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ورودی و خروجی تصادفی می‌پردازد و سعی در ارائه راهکارها و پیشنهادات برای بهبود و بهره‌وری این سیستم‌ها دارد. این مقاله به تجزیه‌وتحلیل عمیق و جامع این موضوع می‌پردازد و نتایج و پیشنهادهای مفیدی برای محققان، مدیران و صاحبان کسب‌وکارها ارائه می‌دهد. در مطالعه حاضر به ارزیابی عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ورودی و خروجی تصادفی پرداخته‌شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از این روش تحلیل، بهبود قابل‌توجهی در اندازه‌گیری عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی و تشخیص نقاط قوت و ضعف آن دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که سازمان‌ها برای بهبود و بهره‌وری بیشتر از سیستم خلق نوآوری خود، از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ورودی و خروجی تصادفی استفاده کنند. این رویکرد می‌تواند به آن‌ها کمک کند تا بهبودهای لازم را در فرایندها و سیستم‌های خود اعمال کرده و به سرعت به نتایج مطلوب نوآوری و پیشرفت دست یابند. در این تحقیق، با رویکرد بررسی و مقایسه کارایی شرکت‌های دانش‌بنیان از حیث استقرار سیستم خلق نوآوری در کشور صورت گرفته است. بر این اساس چهار شرکت مگاموج، مکاترونیکس، موج نمای افق، مغناطیس دانش‌پژوه به‌عنوان شرکت‌های دانش‌بنیان موردبررسی قرار گرفتند. برای بررسی کارایی از تکنیک تحلیل پوششی داده‌های شبکه مختلط با ورودی و خروجی تصادفی استفاده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بهترین و بالاترین کارایی مربوط به شرکت‌های مغناطیس دانش‌پژوه و مکاترونیکس با کارایی نسبی ۱۰۰ درصد محاسبه‌شده که واحد موج نمای افق و مگا موج به‌عنوان واحد ناکارا تعیین‌شده است. علاوه بر این، با استفاده از روش اندرسون پترسون شرکت‌ها اولویت‌بندی شده‌اند. بر اساس اولویت به‌دست‌آمده شرکت مکاترونیکس رتبه اول، مغناطیس دانش‌پژوه رتبه دوم، موج نمای افق رتبه سوم و

مگا موج رتبه چهارم را کسب کرده است. همچنین، یک مقایسه بر اساس امتیاز کارایی با مدل‌های پایه اعم از BCC و CCR برای بررسی قابلیت مدل پیشنهادی ارائه‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل پیشنهادی در مقایسه با سایر مدل‌های پایه عملکرد مشابه با آن‌ها یا بهتر داشته است. تنها در مورد شرکت مگا موج این قضیه صادق نیست. زیرا، مدل CCR بهتر از هم مدل پیشنهادی و مدل BCC عمل می‌کند. اما در کلیت طبق هر سه مدل این شرکت به‌عنوان واحد ناکارا محسوب شده است. طبق یافته‌های تحقیق کاربردهای مدیریتی متصور از تحقیق جاری در حوزه‌های مختلفی می‌تواند قابل‌بررسی باشد. برای مثال، بازشناسایی عوامل کلیدی موفقیت و عوامل مخاطره آفرین که بر عملکرد سیستم خلق نوآوری سازمانی شرکت‌های دانش‌بنیان تأثیر می‌گذارند قابل‌بررسی است. اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد شرکت‌ها بر اساس پارامترهای اساسی بهبود عملکردی، ارائه روش‌های بهینه‌سازی برای بهبود عملکرد شرکت‌های دانش‌بنیان از طریق تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس داده‌های واقعی، شناسایی الگوهای موفقیت و شکست در صنعت الکترونیک به‌منظور ارائه راهکارهای بهبودی، پیشنهاد اقدامات تصحیحی و اصلاحی برای بهبود عملکرد این شرکت‌ها تحت مطالعه قابل‌اندازه‌گیری است. برای تحقیقات آتی می‌توانیم به‌منظور اولویت‌بندی واحدها از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند BWM، VIKOR و... استفاده شود. علاوه بر این، در نظر گرفتن عوامل خروجی نامطلوب در مدل DEA تحلیل پوششی می‌تواند در آینده در مسیر راه سایر محققان قرار بگیرد. همچنین، در نظر گرفتن اصول مدیریتی و تفکیک ورودی‌ها بر دو نوع مدیریت پذیر و غیرمدیریت پذیر می‌تواند به توسعه مدل‌های پیشنهادی در آینده کمک بسیاری نماید.

۶- مراجع

Abolghasemian, M., Bigdeli, H., & Shamami, N. (2024). Modeling the positioning of support forces in future battles using data envelopment analysis and the principles of natural and managerial accessibility. *Defensive Future Studies*, *9*(32), 65-98. DOI: https://doi.org/10.22034/dfsr.2024.2007554.1720

Amirian, J., Amoozad Khalili, H., & Mehrabian, A. (2022). Designing an optimization model for green closed-loop supply chain network of heavy tire by considering economic pricing under uncertainty. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(35), 53107-53120. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-19578-0

Amirteimoori, A., Allahviranloo, T., Kordrostami, S., & Bagheri, S. F. (2023). Improving decision-making units in performance analysis methods: a data envelopment analysis approach. *Mathematical Sciences*, 1-11. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_5

Arana-Jiménez, M., Sánchez-Gil, M. C., Younesi, A., & Lozano, S. (2021). Integer interval DEA: An axiomatic derivation of the technology and an additive, slacks-based model. *Fuzzy sets and systems*, *422*, 83-105. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fss.2020.12.011

Asadi, F., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Bazrafshan, M. (2023). Inverse data envelopment analysis without convexity: double frontiers. *Decisions in Economics and Finance*, *46*(1), 335-354. DOI: https://doi.org/10.1007/s10203-022-00377-8

Fakhr-Mousavi, S. M., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Non-radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. *Journal of Modelling in Management*, *18*(1), 36-60. DOI: https://doi.org/10.1108/JM2-09-2020-0228

Farashah, V. H., Hosseini, S. H., Sazvar, Z., & Ganjavi, H. S. (2020). An investigation on the petrochemical industry development in Iran: a system dynamics approach. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 16(5-6): 493-509. DOI: https://doi.org/10.1504/IJETP.2020.109312

Kassaei, S. S., Lotfi, F. H., Amirteimoori, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Rahmani Parchikolaei, B. (2023). Congestion in multi-function parallel network DEA. *Plos one*, *18*(10), e0286911. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286911

Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Noveiri, M. J. S. (2019). Inputs and outputs classification in integer-valued data envelopment analysis. *Measurement*, *139*, 317-325. DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.087

Kushalshah, T. H, Daneshmand-Mehr, M., & Abolghasemian, M. (2023). Hybrid modelling for urban water supply system management based on a bi-objective mathematical model and system dynamics: A case study in Guilan province. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, *15*(1), 260-279. DOI: https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358272.2023.15.1.12.4

Li, M., Ji, X., & Zhang, B. (2022). Allocation of carbon emission permits in heterogeneous complex network systems: A DEA-based study among China's industrial sectors. *Computers & Industrial Engineering*, *174*, 108836. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108836

Liu, P., Zhang, Y., & Xu, H. (2022). A neutral cross-efficiency measurement for general parallel

China: A double frontier parallel DEA model. *Computers & Industrial Engineering*, *176*, 108979. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.108979

Tavassoli, M., & Saen, R. F. (2023). Sustainability measurement of combined cycle power plants: a novel fuzzy network data envelopment analysis model. *Annals of Operations Research*, 1-41. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-023-05170-3

Vaezi, E. (2023). Measuring an efficiency aggregation of medical diagnostic laboratories: A window NDEA approach. *Medical Imaging Process & Technology*, *6*(1). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_4

Valera, H., & Agarwal, A. K. (2019). Methanol as an alternative fuel for diesel engines. *Methanol and the alternate fuel economy*. 150: 9-33. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3287-6_2

Zhang, X., Xia, Q., & Wei, F. (2023). Efficiency evaluation of two-stage parallel-series structures with fixed-sum outputs: an approach based on SMAA and DEA. *Expert Systems with Applications*, *227*, 120264. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120264

Zhu, Y., Wang, Z., & Yang, J. (2022). Applying an improved three-stage DEA model to evaluate the innovation resource allocation efficiency in industrial enterprises. *Kybernetes*, *52*(12), 6417-6439. https://doi.org/10.1108/K-03-2022-0385

Zhu, Y., Wang, Z., Yang, J., & Zhang, Z. (2022). Evaluating performance of innovation resource allocation in industrial enterprises: an improved two-stage DEA model. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1-23. DOI: https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2157254

production system. *Expert systems with applications*, *205*, 117778. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117778

Lou, Y. Y., Yang, G. L., Guan, Z. C., Chen, X. L., Pan, H., Wang, T., & Zheng, H. J. (2024). A parallel data envelopment analysis and Malmquist productivity index model of virtual frontier for evaluating scientific and technological innovation efficiency at universities. *Decision Analytics Journal*, *10*, 100384. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100384

Mahboubi, M., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Ghane-Kanafi, A. (2022). Undesirable factors and marginal rates of substitution in Data Envelopment Analysis. *Mathematical Sciences*, *16*(1), 23-35. DOI: https://doi.org/10.1007/s40096-021-00389-2

Noveiri, M. J. S., & Kordrostami, S. (2023). Estimating sustainability dimensions using fuzzy inverse directional distance model with flexible measures: a health sector application. *Soft Computing*, 1-17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.087

Noveiri, M. J. S., Kordrostami, S., & Amirteimoori, A. (2022). Performance analysis of sustainable supply networks with bounded, discrete, and joint factors. *Environment, Development and Sustainability*, *24*(1), 238-270. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-021-01415-y

Omrani, H., Shamsi, M., Emrouznejad, A., & Teplova, T. (2023). A robust DEA model under discrete scenarios for assessing bank branches. *Expert Systems with Applications*, *219*, 119694. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119694

Pashapour, S., Bozorgi-Amiri, A., Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Keramati, A. (2019). Performance optimization of organizations considering economic resilience factors under uncertainty: A case study of a petrochemical plant. *Journal of cleaner production*, 231: 1526-1541. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.171

Sepehrian, Z., Khoshfetrat, S., & Ebadi, S. (2022). Weight Derivation in Analytic Hierarchy Process Using Based on Double-Frontier Analysis. *Journal of Operational Research In Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University*, *19*(2), 93-111. DOI: http://dx.doi.org/10.52547/jamlu.19.2.93

Soltanifar, M. (2024). Evaluation of Hospitals and Health Care Centers with Ratio Data. In *Decision Making in Healthcare Systems* (pp. 29-47). Cham: Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_4

Soufi, M. (2024). Multiple Attribute Decision Making in Ranking the Criteria in Health (with Certain and Uncertain Data). In *Decision Making in Healthcare Systems* (pp. 49-128). Cham: Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_5

Sun, Y., Wang, D., Yang, F., & Ang, S. (2023). Efficiency evaluation of higher education systems in